

Nastiti Siswi Indrasti, Purwoko dan Suherman

APLIKASI LINEAR PROGRAMMING DALAM FORMULASI PUPUK ORGANIK BERBASIS KOMPOS UNTUK BERBAGAI TANAMAN

Nastiti Siswi Indrasti, Purwoko dan Suherman

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

ABSTRACT

To support Indonesian organic agricultural system that will be started in 2010, fertilizing will be done with organic fertilizer. The function of fertilizer is to fulfill the plant nutrition. The needs of nutrition is different from plant to plant so it is necessary to formulate the organic fertilizer to balance the nutrition. The most needed nutrition for plant consists of N, P and K. The formulated organic fertilizer were applied for mango, chili, rose, paddy, oil palm, and ginger.

Materials which were used to formulate organic fertilizer were compost (X_1), cow manure (X_2), rock phosphate (X_3), and chaff ash (X_4). Method which was used for formulated organic fertilizer was linear programming (LP). The objective function was to minimize the cost that was based on each material cost. The constrain function in the left side was content of N, P and K dry basis for each material while in the right side was the needs of plant's N, P, and K nutrition per hectare.

The result of problem solving with LINDO program was : 4 898.00 kg/ha X_1 , 2 367.60 kg/ha X_2 and 1 808.89 kg/ha X_3 for mango's formula; 5 296.08 kg/ha X_1 , 1 465.70 kg/ha X_2 and 4 325.93 kg/ha X_3 for chili's formula; 7 450.14 kg/ha X_1 , 6 462.52 kg/ha X_3 and 1 045.98 kg/ha X_4 for rose's formula; 5 088.26 kg/ha X_1 , 744.28 kg/ha X_3 and 1 725.96 kg/ha X_4 for paddy's formula; 2 943.88 kg/ha X_1 , 4 646.32 kg/ha X_3 and 6 520.57 kg/ha X_4 for oil palm's formula; 23 631.42 kg/ha X_1 , 19 311.75 kg/ha X_3 and 2 479.06 kg/ha X_4 for ginger's formula.

The NPK content of the formulated organic fertilizer can be determined with mathematic calculation, but to determine the real NPK content must be tested in laboratory. The result of NPK content by calculating and the result from laboratory test have relatively small differences, that is about 0% to 8.33%.

Key word : organic fertilizer, compost, plant nutrition, linear programming

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemupukan merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan hasil pertanian secara intensifikasi. Usaha peningkatan tersebut dilakukan seiring dengan kebutuhan manusia terhadap hasil-hasil pertanian yang setiap waktu semakin meningkat.

Tanaman memerlukan nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan. Nutrisi tersebut sebenarnya telah tersedia di dalam tanah, namun setelah lama ditumbuhi tanaman ketersediaannya akan berkurang sehingga kurang dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman secara optimal. Salah satu cara mengatasinya adalah pemupukan.

Pupuk yang banyak digunakan oleh petani adalah pupuk berbasis kimiawi. Alasan penggunaan pupuk kimia tersebut diantaranya kandungan unsur-nya yang tinggi dan kemudahan dalam pengaplikasiannya. Namun demikian, pupuk kimia tersebut memiliki efek samping yang merugikan, yaitu semakin menurunnya tingkat kesuburan tanah dan bahaya residu bahan kimia terhadap kesehatan manusia.

Pupuk organik merupakan salah satu pendukung terwujudnya pertanian organik. Indonesia sebagai negara agraris sangat peduli dalam memajukan pertanian yang dapat memperhatikan keamanan pangan dan kelestarian lingkungan. Dalam rapat kerja teknis, Departemen Pertanian mencetuskan suatu tema "Menuju Pertanian Organik 2010" (Martha Tilaar Inovation Center, 2002). Pertanian organik adalah sistem produksi pertanian yang holistik dan terpadu, yang mengoptimalkan kesehatan dan produktivitas agro-ekosistem secara alami, sehingga mampu menghasilkan pangan dan serat yang cukup, berkualitas dan berkelanjutan.

Kebutuhan tanaman akan nutrisi berbeda-beda untuk setiap jenisnya. Hal ini mengakibatkan pupuk organik perlu diformulasikan dengan bahan-bahan alami lain sehingga dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman tersebut secara seimbang.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan formulasi pupuk organik berbahan baku kompos yang tepat untuk kebutuhan nutrisi berbagai jenis tanaman

yang terdiri dari tanaman hortikultura, pangan, perkebunan dan obat.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan untuk formulasi yang digunakan adalah kompos (X_1), pupuk kandang sapi (X_2), fosfat alam (X_3), dan abu sekam (X_4). Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan kimia untuk analisis kadar nitrogen, kadar fosfor dan kadar kalium.

Alat yang digunakan terdiri dari peralatan destilasi, spektrofotometer, pH meter dan absorban atomic spectrofotometer (AAS). Alat tersebut digunakan untuk analisis sifat kimia bahan.

Metodologi

Karakterisasi Bahan

Bahan (kompos, pupuk kandang, fosfat alam, dan abu sekam) dianalisis sifat kimianya. Analisis yang dilakukan antara lain kadar air, kadar abu, kadar nitrogen, rasio C/N, kadar fosfor, kadar kalium, dan pH. Tujuannya yaitu untuk mengetahui kondisi masing-masing bahan yang akan dijadikan sebagai informasi awal untuk melakukan perhitungan formula pupuk organik untuk berbagai jenis tanaman.

Formulasi

Formulasi dilakukan setelah diketahui kandungan hara N, P dan K dari masing-masing bahan yang diperoleh dengan metode *linear programming*. Kegiatan formulasi dilakukan dengan bantuan program komputer LINDO untuk mengetahui formula yang tepat. Rumusan untuk formulasi ini, secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Minimumkan : } Z &= c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + c_4X_4 \\ \text{Kendala : } & \begin{aligned} 1) \quad & a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + a_{14}X_4 = N \\ 2) \quad & a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + a_{24}X_4 = P \\ 3) \quad & a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + a_{33}X_3 + a_{34}X_4 = K \\ 4) \quad & X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0 \end{aligned} \end{aligned}$$

Keterangan :

- X_1 = Kompos
- X_2 = Pupuk kandang
- X_3 = Fosfat alam
- X_4 = Abu sekam
- N = Kebutuhan nutrisi N tanaman
- P = Kebutuhan nutrisi P tanaman
- K = Kebutuhan nutrisi K tanaman
- c_1 = Harga kompos
- c_2 = Harga pupuk kandang

- c_3 = Harga fosfat alam
- c_4 = Harga abu sekam
- a_{11} = Kadar N kompos
- a_{12} = Kadar N pupuk kandang
- a_{13} = Kadar N fosfat alam
- a_{14} = Kadar N abu sekam
- a_{21} = Kadar P kompos
- a_{22} = Kadar P pupuk kandang
- a_{23} = Kadar P fosfat alam
- a_{24} = Kadar P abu sekam
- a_{31} = Kadar K kompos
- a_{32} = Kadar K pupuk kandang
- a_{33} = Kadar K fosfat alam
- a_{34} = Kadar K abu sekam

Setelah diperoleh formula dari hasil pemecahan persamaan linear dengan bantuan program LINDO, formula diaplikasikan dengan basis 1 kg pupuk organik basah.

Validasi Laboratorium

Pupuk organik yang diperoleh dari tahap formulasi dianalisis untuk mengetahui kandungan N, P dan K yang sebenarnya. Hal ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan secara matematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Bahan

Kompos yang digunakan diperoleh dari kawasan Serpong, Tangerang. Untuk memperkaya nutrisi khususnya nitrogen, fosfor dan kalium kompos sehingga dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman secara seimbang, maka ditambahkan bahan-bahan organik lain atau bahan yang dianjurkan dalam konsep pertanian organik terutama dalam hal pemupukan. Bahan-bahan dipilih adalah bahan-bahan yang biasa dijadikan sebagai sumber N, P dan K. Informasi awal kandungan N, P dan K bahan-bahan diperoleh dari data sekunder. Setelah itu untuk mengetahui kandungan sebenarnya dilakukan pengukuran di laboratorium. Karakteristik masing-masing bahan disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Berdasarkan Tabel 1, kompos dan pupuk kandang memiliki kadar air yang tinggi, yaitu masing-masing sebesar 58.39% dan 72.40%, sedangkan fosfat alam dan abu sekam kadar airnya sangat rendah. Kadar air kompos dan pupuk kandang masih relatif tinggi jika dibandingkan dengan standar kompos Indonesia (SNI 19-7030-2004) dimana maksimal 50%. Kadar air ini dipakai untuk menghitung kandungan N, P dan K bahan pada basis kering.

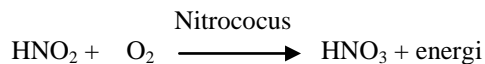
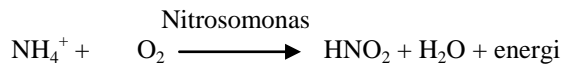
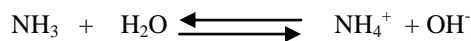
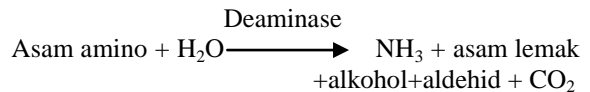
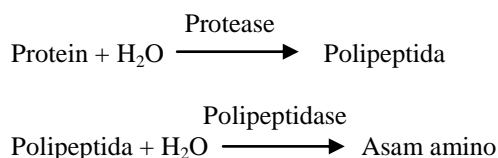
Tabel 1. Karakteristik bahan pada basis kering

Parameter	Bahan			
	Kompos	Pupuk kandang	Fosfat alam	Abu sekam
Kadar air (%)	58.39	72.40	6.73	2.10
Kadar abu (%)	27.73	5.28	90.03	96.17
Kadar N (%)	0.88	1.03	0.03	0.00
Kadar P (%)	0.20	0.27	1.12	0.26
Kadar K (%)	0.70	0.49	0.04	1.30
Kadar C (%)	17.88	43.88	1.87	0.97
Rasio C/N	20.22	42.47	56.77	-
pH	7.96	8.64	7.87	8.58

Kadar abu suatu bahan menunjukkan total kandungan mineral. Bahan yang banyak mengandung mineral adalah fosfat alam (90.03%) dan abu sekam (96.17%). Pada abu sekam, hampir semua komponen penyusunnya adalah abu. Hal ini dikarenakan abu tersebut diperoleh dari hasil pembakaran sekam. Proses pembakaran menyebabkan berkurang atau hilangnya beberapa unsur seperti karbon dan nitrogen. Kedua unsur tersebut merupakan penyusun bahan organik terbesar selain H dan O.

Kandungan unsur hara bahan yang sangat penting bagi tanaman yaitu nitrogen, fosfor dan kalium. Ketiga unsur hara tersebut termasuk unsur makro primer bagi tanaman. Hal ini berarti unsur-unsur tersebut harus tersedia pada tanah atau media tanam lainnya untuk menjaga tanaman tumbuh dan berkembang secara normal. Kandungan N, P dan K bahan-bahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, kandungan N untuk kompos dan pupuk kandang masing-masing sebesar 0.88% dan 1.03%. Jika dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004 (kurang dari 0.40%), kompos dan pupuk kandang tersebut mutunya sangat baik karena lebih besar dari 0.40%. Kandungan N dalam kompos sangat dipengaruhi oleh proses pengomposan dan bahan baku yang digunakan. Dalam proses pengomposan, nitrogen yang dapat diserap oleh tanaman dari hasil penguraian bahan organik berupa amonium (NH_4^+), nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-). Ion-ion tersebut berasal dari penguraian senyawa protein oleh mikroorganisme dekomposer. Menurut Sugito *et al.* (1995), proses penguraian protein dapat dijelaskan sebagai berikut :



Pada tahapan reaksi di atas, NH_3 yang dihasilkan dari penguraian asam amino berwujud gas sehingga akan mudah menguap jika tidak segera bereaksi dengan H_2O . NH_3 bersama dengan air akan segera membentuk ion NH_4^+ dan ion OH^- . Reaksi ini merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan kandungan N kompos setelah proses pengomposan selesai. Ketika proses pengomposan terjadi kekurangan air, maka akan banyak kehilangan nitrogen akibat penguapan NH_3 . Hal ini dapat menyebabkan produk kompos akhir kandungan nitrogennya rendah atau kurang memenuhi standar kualitas kompos. Selain itu, nilai C/N awal bahan sebelum dikomposkan turut juga mempengaruhi kandungan nitrogen produk kompos akhir. Menurut Dalzell *et al.* (1987), jika nilai C/N rendah maka nitrogen akan banyak dibebaskan ke udara, sebaliknya jika nilai C/N tinggi proses pengomposan akan lambat.

Pada kedua bahan yang lain yakni fosfat alam dan abu sekam, kandungan nitrogennya sangat rendah, bahkan pada abu sekam tidak memiliki kandungan nitrogen sama sekali. Abu sekam diperoleh dari hasil pengabuan sekam. Proses pengabuan tersebut akan menghilangkan senyawa-senyawa organik dimana unsur penyusun dominannya adalah C, H, O dan N. Unsur-unsur tersebut dibebaskan ke udara, sehingga yang tersisa adalah mineral-mineral. Mineral-mineral yang sangat dibutuhkan tanaman diantaranya adalah fosfor dan kalium.

Kandungan fosfor minimum menurut SNI 19-7030-2004 adalah 0.10%. Kompos dan pupuk kandang sama-sama memiliki kandungan fosfor yang lebih tinggi dari standar tersebut. Kandungan fosfor dalam kompos sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan yang dipakai dalam pembuatan kompos, seperti yang dilaporkan Rao (1994) bahwa materi organik yang berasal dari residu tanaman kaya akan sumber fosfor organik, sehingga ketika dibuat kompos akan memiliki kadar fosfor yang relatif tinggi.

Pada fosfat alam yang diambil dari daerah Ciampea, kandungan fosfor lebih tinggi dibandingkan dengan tiga bahan yang digunakan untuk formulasi. Fosfat alam dari daerah Ciampea yang dianalisisnya memiliki kandungan fosfor sebanyak 9.14% sedangkan fosfat yang didapatkan hanya 1.12%. Kemungkinan besar hal ini disebabkan oleh

banyaknya zat pengotor terutama tanah pada fosfat alam tersebut. Pada abu sekam yang sebagian besar terdiri dari mineral-mineral mengandung fosfor sebanyak 0.26%.

Unsur makro primer terakhir adalah kalium. Kandungan kalium kompos berada di atas 0.20%. Hal ini berarti sudah memenuhi standar mutu kompos (minimal 0.20%). Kompos memiliki kandungan kalium sebanyak 0.70%. Begitu juga pupuk kandang, kandungan kaliumnya memenuhi standar kualitas kompos (SNI 19-7030-2004). Pupuk kandang memiliki kandungan kalium sebanyak 0.49%.

Dari keempat bahan yang dianalisis kandungan kaliumnya, ternyata yang paling tinggi adalah abu sekam. Menurut hasil penelitian Yuntini (1998), kandungan kalium abu sekam yang digunakan (1.30%) lebih rendah daripada hasil pengukuran Asanuma (1.99%), tetapi lebih tinggi daripada hasil pengukuran Yantini (1998) yang hanya memiliki kandungan kalium sebanyak 0.42%. Fosfat alam merupakan bahan yang memiliki kandungan kalium yang paling kecil dibandingkan dengan bahan lainnya. Kandungan kaliumnya hanya sebanyak 0.04%.

Untuk mengetahui tingkat kematangan suatu kompos dapat diukur dengan nilai rasio karbon dengan nitrogen (C/N). Kompos memiliki nilai C/N sebesar 20.22 sedangkan pupuk kandang sebesar 42.48. Jika dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004 (C/N : 10-20) berarti kompos hampir memenuhi standar sedangkan pupuk kandang tidak memenuhi standar. Menurut Dalzell *et al.* (1987), bahan untuk pembuatan kompos yang memiliki nilai C/N rendah akan banyak kehilangan nitrogen yang dibebaskan dalam bentuk NH_3 , sehingga kandungan nitrogen akhir akan sedikit. Sementara itu, karbon yang dibebaskan dalam bentuk CO_2 tidak sebanding kehilangannya dengan nitrogen, sehingga nilai C/N naik.

Semua bahan memiliki nilai pH di atas pH netral. Bahan-bahan yang memiliki nilai pH di atas 7.00 kaya akan logam-logam alkali. Logam-logam tersebut dapat menyebabkan bahan-bahan bersifat basa. Jika dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004, pH kompos dan pupuk kandang berada di luar rentang pH yang ditetapkan. Kompos memiliki pH sebesar 7.96 dan pupuk kandang 8.64, sedangkan menurut SNI 19-7030-2004, kompos yang baik memiliki nilai pH 6.80-7.49.

Formulasi Pupuk Organik

Variabel Keputusan

Ada empat variabel keputusan yang hendak dicari nilainya. Jumlah variabel tersebut sesuai dengan jumlah bahan yang ingin diformulasikan. Variabel keputusan tersebut ditetapkan sebagai berikut :

- X_1 = Kompos
- X_2 = Pupuk kandang
- X_3 = Fosfat alam
- X_4 = Abu sekam

Fungsi Tujuan

Tujuan dari formulasi pupuk organik ini yaitu meminimalkan biaya. Pemupukan merupakan salah satu faktor biaya dalam kegiatan pertanian, sehingga biaya pemupukan perlu diminimalkan. Untuk menetapkan fungsi tujuan ini, perlu diketahui harga dari masing-masing bahan yang akan diformulasikan. Dalam penetapan harga bahan-bahan tersebut, tentunya berbeda di setiap tempat atau pasar. Oleh karena itu, harga ditetapkan berdasarkan harga pembelian bahan-bahan tersebut khususnya untuk kompos dan abu sekam. Untuk pupuk kandang dan fosfat alam, harga ditetapkan berdasarkan hasil wawancara dengan penyedia kedua bahan-bahan tersebut. Harga masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Harga perkiraan bahan pada basis kering

Nama Bahan	Harga (Rp/Kg kering)
Kompos	1 200
Pupuk kandang	1 450
Fosfat alam	200
Abu sekam	500

Harga-harga yang ada pada Tabel 2 dijadikan sebagai koefisien variabel keputusan pada fungsi tujuan. Fungsi tujuan tersebut dapat dirumuskan :
 $Z = 1200X_1 + 1450X_2 + 200X_3 + 500X_4$

Sistem Kendala

Dalam memformulasikan pupuk organik ini, ada tiga nutrisi yang ingin diseimbangkan yakni nitrogen, fosfor dan kalium. Ketiga nutrisi tersebut diperoleh dari empat bahan yang telah diukur kandungan N, P dan K-nya seperti yang tercantum dalam Tabel 1. Kandungan N, P dan K masing-masing bahan dijadikan sebagai koefisien dari masing-masing variabel keputusan pada sistem kendala.

Aktivitas yang ingin dicapai pada sistem kendala, yaitu berupa kebutuhan N, P dan K tanaman. Tanaman yang akan dibuat formula pupuknya ada enam tanaman, yaitu tanaman mangga, cabai, mawar, padi, kelapa sawit, dan jahe. Kebutuhan N, P dan K tanaman diperoleh dari hasil studi literatur, dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Kebutuhan NPK beberapa tanaman kg/ha

Nama Tanaman	Kebutuhan Nutrisi		
	N	P	K
Mangga ¹⁾	68.04	36.45	43.88
Cabai ²⁾	63.00	63.00	60.00
Mawar ³⁾	67.50	90.00	100.00
Padi ⁴⁾	45.00	23.00	62.00
Kelapa sawit ⁵⁾	27.30	74.88	130.00
Jahe ⁶⁾	213.75	270.00	300.00

Sumber :

¹⁾ Kusumo *et al* (1985), diolah²⁾ Setiadi (1998), diolah³⁾ Ashari (1995), diolah⁴⁾ Siregar (1981)⁵⁾ Pandjaitan dan Wibowo (1976), diolah⁶⁾ Martodireso dan Suryanto(2001), diolah

Berdasarkan data kandungan N, P dan K bahan serta data kebutuhan N, P dan K tanaman maka dapat disusun persamaan matematika untuk sistem kendala sebagai berikut :

Tanaman mangga

$$N: 0.0088 X_1 + 0.0103 X_2 + 0.0003 X_3 + 0.0000 X_4 = 68.04$$

$$P: 0.0020 X_1 + 0.0027 X_2 + 0.0112 X_3 + 0.0026 X_4 = 36.45$$

$$K: 0.0070 X_1 + 0.0049 X_3 + 0.0004 X_3 + 0.0130 X_4 = 43.88$$

Tanaman cabai

$$N: 0.0088 X_1 + 0.0103 X_2 + 0.0003 X_3 + 0.0000 X_4 = 63.00$$

$$P: 0.0020 X_1 + 0.0027 X_2 + 0.0112 X_3 + 0.0026 X_4 = 63.00$$

$$K: 0.0070 X_1 + 0.0049 X_3 + 0.0004 X_3 + 0.0130 X_4 = 60.00$$

Tanaman mawar

$$N: 0.0088 X_1 + 0.0103 X_2 + 0.0003 X_3 + 0.0000 X_4 = 67.50$$

$$P: 0.0020 X_1 + 0.0027 X_2 + 0.0112 X_3 + 0.0026 X_4 = 90.00$$

$$K: 0.0070 X_1 + 0.0049 X_3 + 0.0004 X_3 + 0.0130 X_4 = 100.00$$

Tanaman padi

$$N: 0.0088 X_1 + 0.0103 X_2 + 0.0003 X_3 + 0.0000 X_4 = 45.00$$

$$P: 0.0020 X_1 + 0.0027 X_2 + 0.0112 X_3 + 0.0026 X_4 = 23.00$$

$$K: 0.0070 X_1 + 0.0049 X_3 + 0.0004 X_3 + 0.0130 X_4 = 62.00$$

Tanaman kelapa sawit

$$N: 0.0088 X_1 + 0.0103 X_2 + 0.0003 X_3 + 0.0000 X_4 = 27.30$$

$$P: 0.0020 X_1 + 0.0027 X_2 + 0.0112 X_3 + 0.0026 X_4 = 74.88$$

$$K: 0.0070 X_1 + 0.0049 X_3 + 0.0004 X_3 + 0.0130 X_4 = 130.00$$

Tanaman jahe

$$N: 0.0088 X_1 + 0.0103 X_2 + 0.0003 X_3 + 0.0000 X_4 = 213.75$$

$$P: 0.0020 X_1 + 0.0027 X_2 + 0.0112 X_3 + 0.0026 X_4 = 270.00$$

$$K: 0.0070 X_1 + 0.0049 X_3 + 0.0004 X_3 + 0.0130 X_4 = 300.00$$

dengan nilai X_1, X_2, X_3 dan $X_4 \geq 0$

Hasil Optimasi

Permasalahan yang telah diformulasikan dalam bentuk model matematika diselesaikan dengan bantuan program komputer LINDO. Hasil penyelesaian untuk masing-masing tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Formula pupuk organik berbagai tanaman

Formula	Bahan (kg kering/ha)			
	Kompos	Pupuk Kandang	Fosfat Alam	Abu sekam
Mangga	4 898.00	2 367.60	1 808.89	-
Cabai	5 296.08	1 465.70	4 325.93	-
Mawar	7 450.14	-	6 462.52	1 045.98
Padi	5 088.26	-	744.28	1 725.96
Kelapa sawit	2 943.88	-	4 646.32	6 520.57
Jahe	23 631.42	-	19 311.75	2 479.06

Tanaman Mangga

Penyelesaian optimal untuk formulasi pupuk organik tanaman mangga tercapai dengan menggunakan tiga bahan, yaitu kompos, pupuk kandang dan fosfat alam. Komposisi ketiga bahan tersebut adalah 4 898.00 kg/ha untuk kompos, 2 367.60 kg/ha untuk pupuk kandang dan 1 808.89 kg/ha untuk fosfat alam dalam basis kering. Formula tersebut dapat memenuhi kebutuhan N, P dan K tanaman mangga secara seimbang karena nutrisi N, P dan K yang terkandung dalam formula tersebut akan habis terserap tanaman. Hal ini ditunjukkan oleh nilai slak/surplus sama dengan nol.

Tanaman Cabai

Kondisi optimal formulasi pupuk organik untuk tanaman cabai dapat tercapai jika menggunakan bahan kompos sebesar 5 296.08 kg/ha pupuk kandang sebesar 1 465.70 kg/ha dan fosfat alam 4 325.93 kg/ha dalam basis kering. Komposisi bahan seperti itu, kebutuhan nutrisi N, P dan K tanaman cabai dapat terpenuhi secara seimbang atau tanpa ada sisa. Hal ini ditunjukkan dengan nilai slak/surplus sama dengan nol.

Tanaman Mawar

Formula pupuk organik tanaman mawar yang optimal menggunakan tiga bahan yakni kompos, fosfat alam dan abu sekam. Nilai variabel keputusan

yang diperoleh pada kondisi optimal adalah 7 450.14 kg/ha untuk kompos, 6 462.52 kg/ha untuk fosfat alam dan 1 045.98 kg/ha untuk abu sekam dalam basis kering. Pada kondisi tersebut nutrisi N, P dan K memiliki nilai slak/surplus sama dengan nol. Hal ini menunjukkan bahwa pada formula pupuk organik dengan komposisi seperti itu dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman mawar tanpa ada sisa.

Tanaman Padi

Bagi tanaman padi, formula optimal dicapai dengan komposisi kompos sebanyak 5 088.26 kg/ha, fosfat alam sebanyak 744.28 kg/ha dan abu sekam sebanyak 1 725.96 kg/ha dalam basis kering. Jika dilihat nilai slak/surplus-nya dari masing-masing nutrisi semuanya sama dengan nol. Hal ini berarti pada formula tersebut dapat memenuhi nutrisi tanaman padi dengan seimbang tanpa ada sisa.

Tanaman Kelapa Sawit

Pada kondisi optimal, variabel keputusan yang diperoleh adalah 2 943.88 kg untuk kompos, 4 646.32 kg untuk fosfat alam dan 6 520.57 kg untuk abu sekam dengan basis 1 ha dan kering. Komposisi demikian dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman kelapa sawit secara seimbang. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya nilai slak/surplus sama dengan nol, sehingga nutrisi N, P dan K semuanya terpakai tanpa ada sisa.

Tanaman Jahe

Untuk tanaman jahe, penyelesaian optimal tercapai dengan menggunakan bahan kompos sebanyak 23 631.42 kg/ha, fosfat alam sebanyak 19 311.75 kg/ha dan abu sekam 2 479.06 kg/ha basis kering. Penggunaan ketiga bahan tersebut menyebabkan nilai slak/surplus semua nutrisi sama dengan nol. Nutrisi yang memiliki slak/surplus sama dengan nol akan menyebabkan tidak adanya sisa nutrisi yang digunakan untuk pemupukan tanaman jahe.

Validasi Laboratorium

Formula pupuk organik yang telah dihasilkan dengan bantuan program LINDO, dibuat dengan cara pengaplikasian semua bahan-bahan dengan komposisi tertentu sesuai dengan jenis tanamannya seperti yang tercantum pada Tabel 3. Pengaplikasian dilakukan pada basis 1 kg produk basah. Setelah keenam formula pupuk organik diaplikasikan maka dilakukan uji laboratorium untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan matematis kandungan N, P dan K-nya. Perbandingan hasil perhitungan dan

pengukuran di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan kandungan NPK hasil perhitungan dan pengukuran

Formula pupuk organik	Kadar	Hasil perhitungan (%)	Hasil pengukuran (%)	Perbedaan (%)
Mangga	N	0.75	0.78	4.00
	P	0.40	0.39	2.50
	K	0.48	0.44	8.33
Cabai	N	0.57	0.53	7.02
	P	0.57	0.60	5.26
	K	0.54	0.50	7.41
Mawar	N	0.45	0.48	6.67
	P	0.60	0.58	3.33
	K	0.67	0.69	3.00
Padi	N	0.51	0.53	3.92
	P	0.26	0.27	3.85
	K	0.70	0.73	4.29
Kelapa sawit	N	0.18	0.18	0.00
	P	0.50	0.51	2.00
	K	0.87	0.85	2.30
Jahe	N	0.41	0.40	2.44
	P	0.52	0.51	1.92
	K	0.57	0.59	3.51

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa perbedaan hasil pengukuran terhadap hasil perhitungan yang terjadi untuk semua parameter bagi masing-masing formula pupuk organik adalah 0-8.33%. Hal ini dapat dikatakan bahwa perbedaan tersebut relatif kecil.

Pada pengaplikasian formula pupuk organik tersebut, yang paling dominan mempengaruhi nilai perbedaan dari hasil perhitungan adalah kehomogenan pada saat pengaplikasian. Semakin homogen pencampurannya maka nilai perbedaan akan semakin kecil.

Berdasarkan hasil pengukuran yang terdapat dalam Tabel 5, kandungan N yang paling tinggi dimiliki oleh formula pupuk organik tanaman mangga (0.78%) sedangkan yang paling rendah dimiliki oleh formula pupuk organik tanaman kelapa sawit. Kandungan N yang tinggi disebabkan oleh besarnya persentase bahan yang dominan mengandung N yakni kompos dan pupuk kandang yang ditambahkan, begitu juga sebaliknya. Jika dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004, kandungan unsur N formula tanaman kelapa sawit tidak memenuhi standar sedangkan formula tanaman lainnya memenuhi standar.

Kandungan unsur P untuk semua formula memenuhi SNI 19-7030-2004. Bahan yang paling berpengaruh terhadap kandungan unsur P masing-masing formula adalah fosfat alam. Hal ini dikarenakan fosfat alam memiliki kandungan unsur P yang dominan, sehingga jika persentase penambahannya semakin besar maka kandungan P dalam formula pupuk organik akan semakin besar pula.

Unsur K yang terkandung dalam setiap formula pupuk organik masih memenuhi SNI 19-7030-2004, karena keenam formula tersebut memiliki kandungan unsur K di atas 0.20%. Formula tanaman kelapa sawit memiliki kandungan unsur K paling tinggi yaitu sebesar 0.85%. Hal ini disebabkan oleh besarnya persentase abu sekam yang ditambahkan pada formula pupuk organik tanaman kelapa sawit.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 19-7030-2004), kualitas kompos dan pupuk kandang yang diperoleh memenuhi standar dari segi kandungan unsur N, P dan K-nya, sedangkan dari segi kadar air, pH dan nilai C/N, kompos dan pupuk kandang tersebut tidak memenuhi standar. Pupuk kandang memiliki kandungan N lebih tinggi dari kandungan unsur lainnya. Kandungan P fosfat alam lebih tinggi dari unsur lainnya. Abu sekam memiliki kandungan K lebih tinggi dari unsur lainnya. Dengan demikian ketiga bahan tersebut dapat berfungsi menyeimbangkan kandungan unsur N, P dan K kompos yang sesuai dengan kebutuhan N, P dan K tanaman.

Dari keenam permasalahan program linier yang dipecahkan dengan bantuan program komputer LINDO, dihasilkan enam formula pupuk organik yang kandungan N, P, dan K-nya seimbang dengan kebutuhan unsur N, P dan K tanaman. Keenam formula pupuk organik tersebut adalah 4 898.00 kg/ha X_1 , 2 367.60 kg/ha X_2 dan 1 808.89 kg/ha X_3 untuk tanaman mangga; 5 296.08 kg/ha X_1 , 1 465.70 kg/ha X_2 dan 4 325.93 kg/ha X_3 untuk formula tanaman cabai; 7450.14 kg/ha X_1 , 6 462.52 kg/ha X_3 dan 1 045.98 kg/ha X_4 untuk formula tanaman mawar; 5 088.26 kg/ha X_1 , 744.28 kg/ha X_3 dan 1 725.96 kg/ha X_4 untuk formula tanaman padi; 2 943.88 kg/ha X_1 , 4 646.32 kg/ha X_3 dan 6 520.57 kg/ha X_4 untuk formula tanaman kelapa sawit; serta 23 631.42 kg/ha X_1 , 19 311.75 kg/ha X_3 dan 2 479.06 kg/ha X_4 untuk tanaman jahe.

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran kandungan NPK formula yang telah dicampur dapat dibandingkan dengan melihat perbedaan hasil pengukuran terhadap hasil perhitungan. Persentase perbedaannya relatif kecil 0-8.33% untuk semua parameter.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, S. 1995. Hortikultura Aspek Budidaya. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Boediono. 1985. Ekonomi Mikro. BPEE, Yogyakarta.
- Dalzell, H., A.J. Biddletone, K. R. Gray, dan K. Thuraijan. 1987. Pengolahan Tanah: Produksi dan Penggunaan Kompos dalam Limbah Padat di Indonesia: Masalah atau Sumberdaya ?. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Indrasti, N. S. 2003. Penyusunan Standar Mutu dan Sistem Pemasaran Kompos, Laporan Akhir. Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Jannah, M. 2003. Evaluasi Kualitas Kompos Dari Berbagai Kota Sebagai Dasar dalam Pembuatan SOP (*Standard Operating Procedure*) Pengomposan. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kusumo, S, R. Suhendro, dan Poernomo. 1985. Mangga (*Mangifera indica* L.). Yasaguna, Jakarta.
- Martha Tilaar Inovation Center. 2002. Budi Daya Secara Organik Tanaman Obat Rimpang. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Martodireso, S. dan W. A. Suryanto. 2001. Terobosan Teknologi Pemupukan dalam Era Pertanian Organik. Kanisius, Jakarta.
- Pandjaitan, A. Dan P. Wibowo. 1976. Pengaruh Jenis Pupuk Kalium pada Kelapa Sawit dan Keadaan Hara Tanah. Prasaran dan Pembahasan Seminar Kelapa Sawit. Balai Penelitian Perkebunan Medan 23-24 Februari 1976.
- Rao, N. S. S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. UI-Press, Jakarta.
- Sediyarso, M. 1999. Fosfat Alam Sebagai Bahan Baku dan Pupuk Fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Setiadi. 1998. Bertanam Cabai. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Siregar, H. 1981. Budidaya Tanaman Padi di Indonesia. Sastra Hudaya, Jakarta.
- SNI 19-7030. 2004. Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Badan Standarisasi Nasional.
- Sugito, Y., Y. Nuraini, dan E. Nihayati. 1995. Sistem Pertanian Organik. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Yantini. 1998. Pengaruh Sekam dan Abu Sekam terhadap Pertumbuhan dan Kesehatan Tanaman Panili (*Vanilla planifolia* Andrews) di Pembibitan. Skripsi. Jurusan Budi Daya Pertanian, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

